



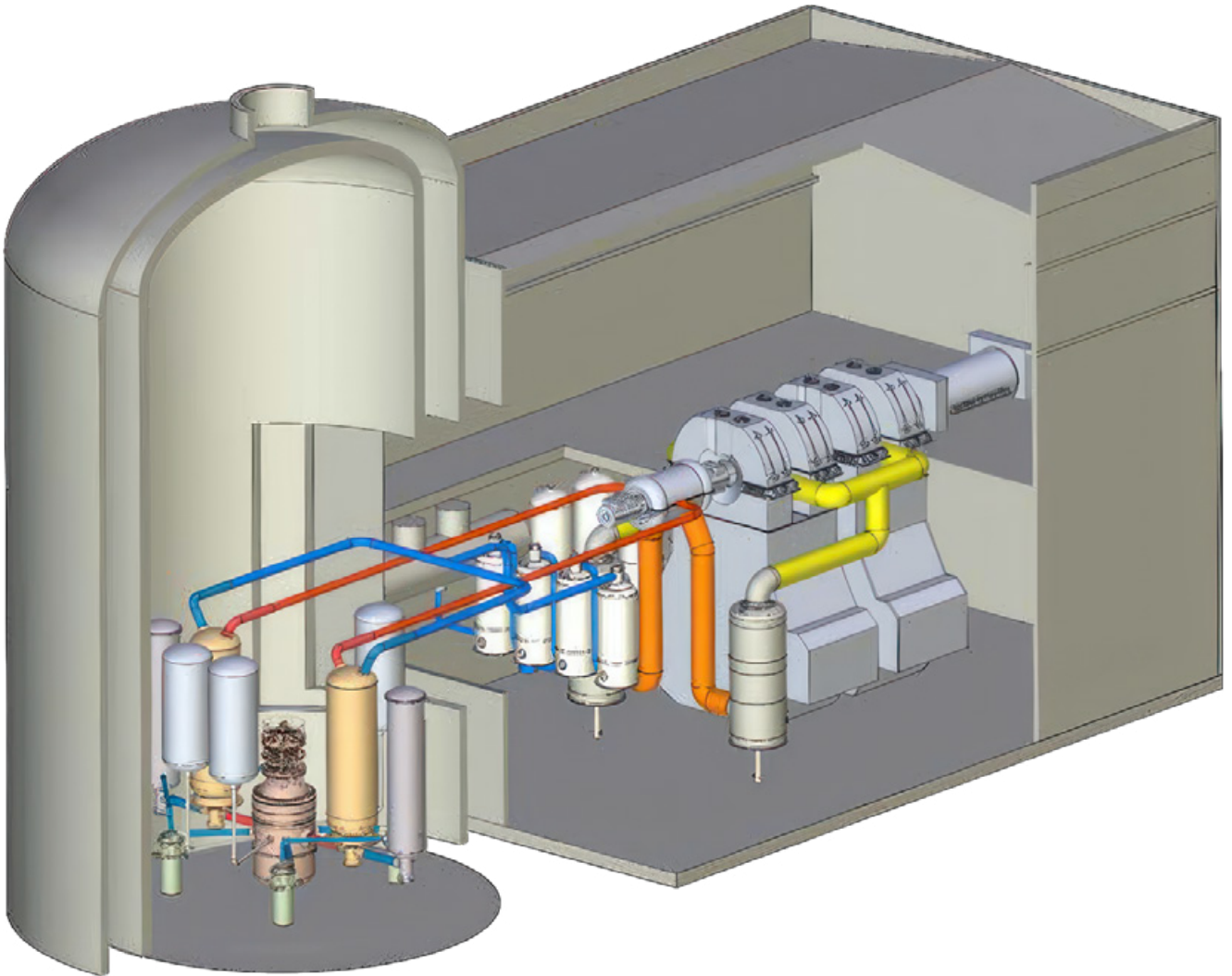
## 目录

---

[经典反应堆的新版](#)

[核能预测](#)

[扩展中俄关系](#)



## 经典反应堆的新版

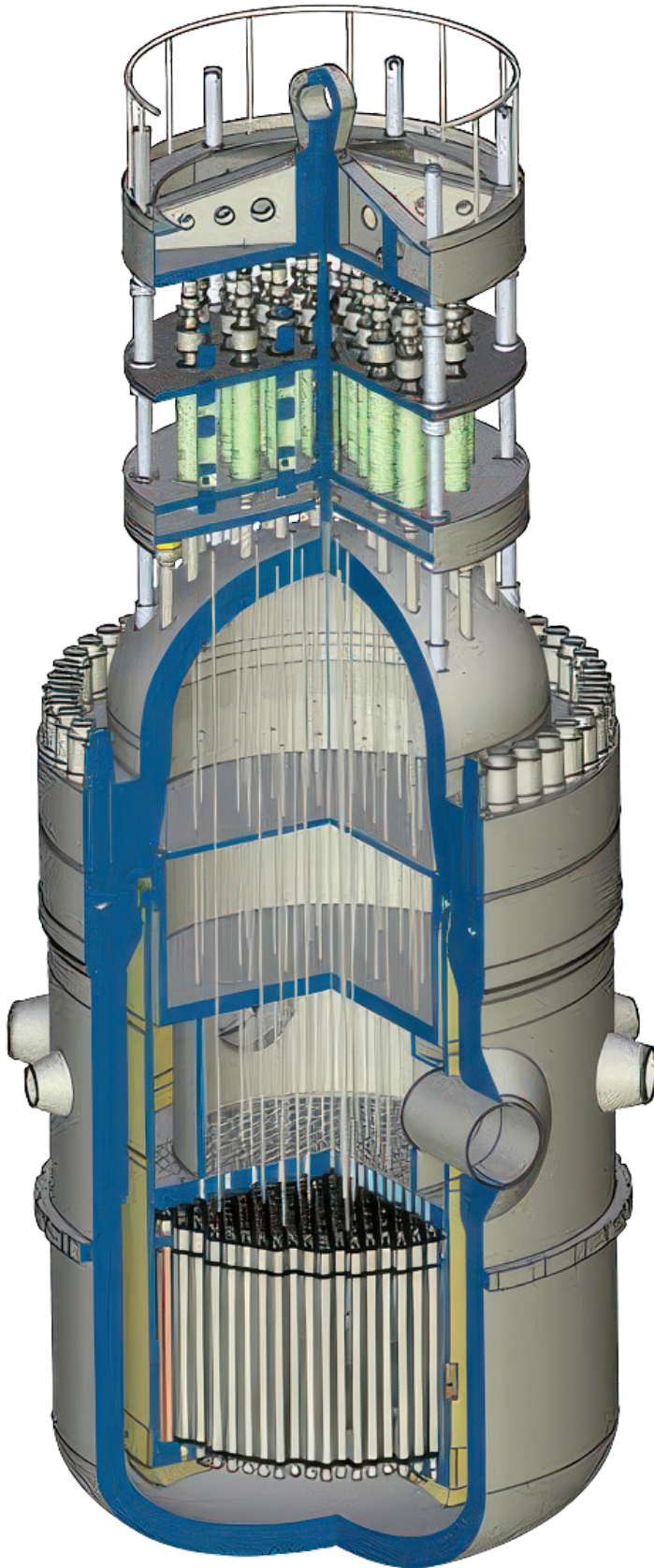
10月“新型核能”会议上，俄罗斯国家原子能公司高管、科学家和工程师介绍俄罗斯反应堆技术发展的关键方向。其中值得指出的是优化极力推荐的大中型VVER反应堆。向您介绍什么是VVER-S光谱调节水-水发电反应堆。

### 研发历程简介

20世纪80年代，全世界都在考虑通过增加慢化剂体积来软化中子频谱，从而控制频谱反应性的理念。增加体积有两种方法，一种是

使用在燃烧过程中从堆芯中移除的置换剂，另一种是用重水稀释冷却剂。频谱软化被认为是通过生产裂变同位素来节省燃料的一种方法。

当时这一想法被搁置，2005年被重新提出。在弗拉基米尔·阿斯莫洛夫（现任俄罗斯国家原子能公司总裁秘书）的领导下，进行了“超级VVER”的研发工作。其中一个方向是光谱调节反应堆。为此，他们考虑建造一个中等容量的反应堆（600兆瓦）。VVER-S反应堆的预期再现系数为0.7 - 0.8，而传统VVER的再现系数为0.35 - 0.4。已经开展了一轮工作，其结果为下一阶段的研究奠定了基础。2019-2020年继续研发VVER。研发结果表明，使用

[返回目录](#)

VVER-S反应堆建造核电站在技术和经济指标上都具有竞争力。

VVER-S项目旨解决五个问题。首先是减少开放式核燃料循环中天然铀的消耗。第二，确保反应堆在封闭核燃料循环中以 0.7-0.8 的再现系数满载铀钚燃料高效运行。第三，确保反应堆在 100-40-100% 的日常功率调节模式下运行。第四，采用全新的设计方案，缩短动力装置的建造时间，降低建造成本。第五，减少放射性废物。

VVER-S技术基于VVER反应堆装置运行经验。尽管VVER-S解决方案并不算创新，科学家、工程师和设计师考虑了一切优化项目参数的解决方案。现有的创新保证新型反应堆在国内外市场都有前景。

VVER-S技术被列入俄罗斯国家原子能公司监督理事会2021年批准的《2050年以前及2100年内未来俄罗斯核能发展战略》。

## 反应堆如何运行

VVER-S项目设计办公室主任维克托·莫霍夫介绍说，“在传统的 VVER 技术中，硼控制系统用于补偿初始反应性储备，并在反应堆运行期间调节反应性，即调整一回路冷却剂中的硼酸浓度。”

当位于燃料组件特殊通道中的机械水置换装置从堆芯中移出时，反应堆功率运行期间的水铀比会发生变化，从而导致 VVER-S反应堆的频谱调节。由于置换器浸入堆芯，活动开始时的慢化剂体积较小，因此堆芯中的中子谱更为紧密。这导致奇数易裂变同位素的裂变截面减小，铀-238同位素的共振俘获截面增大。这两种效应都会降低堆芯的孕育特性，增加易裂变钚-239的积累，从而在每年的燃料装载中节省易裂变材料。频谱硬化的另一个影响是铀-238同位素裂变的比例增加。当移除置换剂时，频谱会从硬区转移到热区，从而导致反应性增加。

[返回目录](#)

应用排水器来控制反应性时不用硼控制反应堆运行。但是VVER反应堆难得全面放弃硼控制，因为根据安全要求必须装有基于理学原则的两个独立系统来保证反应堆处于次临界。

## 燃料和设备的特点

研发者认为VVER-S是VVER技术的演变，让反应堆从开式核燃料循环演变成闭路式核燃料循环，以及有效落实二元核电观念。

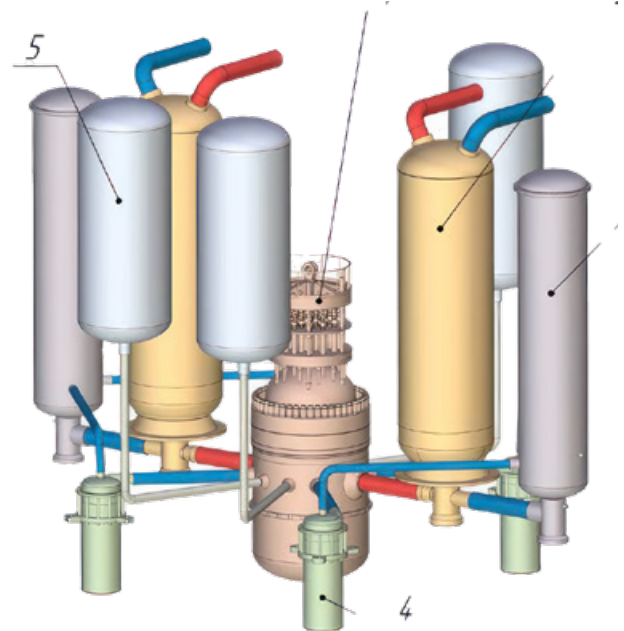
VVER-S考虑了两种燃料组件设计。第一种是传统设计，但增加了通道数量，以容纳控制和保护系统的吸收棒，便于利用安全管理系统的一部分管理反应性。第二种是改进型，燃料元件晶格间距减小，并增加了放置置换器的通道，从而可以在 1.5-2.0 的范围内改变燃料组件中的水铀比。

VVER-S反应堆的燃料元件和主要设备尽量应用参考性解决方案。主要技术解决方案基于VVER-2006核电站和VVER-TOI核电站的解决方案。反应堆热功率为1600兆瓦，电功率达到650兆瓦，效率为38%。反应堆应用为VVER-1000设计、可容纳所需要燃料和排水器的大型容器。

设计上VVER-S堆芯全部装有铀-钚燃料，这将使采用这种反应堆装置的发电厂能够最有效地适应双组分发电工程的理念。

## 科拉核电站

VVER-S属于中型功率反应堆，便于俄罗斯国家原子能公司向潜在客户提出有竞争能力的报价来替代停运煤电站，以及向没有发达基础设施和闭路式电能装置的地方供电。



之所以选择科拉核电站作为首个VVER-S反应堆机组的所在地，是因为现有的第一代VVER-440机组即将报废。根据现行的《俄罗斯联邦电力工业设施选址总体方案》，如果设计技术方案合理，且该项目证明与传统VVER和替代发电资源相比具有竞争力，则可在2035年之前建造VVER-CS机组。VVER-S核电站也可以进军国外市场。根据计划，将在科拉核电厂对技术解决方案进行测试，并验证新反应堆机组的性能。

## 研发阶段

初步研发已经完成，正在积极进行反应堆设计工作以及研发机组和核电站的主要技术解决方案。此外正在论证VVER-S项目技术解决方案。预计2024年底前做出确定项目成本、前景等的相关文件。科拉核电站二期新址的第一座机组发电计划于2035年启动。NL

[返回文章开头](#)



## 核能预测

**今秋, 国际原子能机构 (IAEA)、国际能源署 (IEA) 和美国能源信息署 (EIA) 都发布了能源展望报告, 承认核能是低碳能源, 同可再生能源一样, 但是核能设备推广规模难以预测。**

三份展望报告全部涉及到2050年时的时期, 认为主要挑战为能源的可使用性和碳中和的实现, 预测发电用电都会增长, 核能在消费能源中的比例会提高。

### 不确定的未来

大体上, 三份展望报告中的两份指出未来的不确定性较高。IAEA报告承认, 这些预测并

没有完全涵盖影响现实的所有因素。“低分和高分反映了对影响核电发展的驱动因素的不同但不极端的看法。这些驱动因素以及改变这些因素的可选方案因国家而异。上述估算提供了各地区和全球核电能力发展的实际范围。然而, 这些估算并不能预测或反映从最不可能到最有可能的所有可能未来。”

EIA报告认为不确定性更高: “几乎肯定会有意想不到的事件或突破改变全球能源系统的轨迹。尤吉·贝拉说过, ‘未来已不是过去’。因此我方所提出的情景不可算是预测。《2023年国际能源展望报告》为不同国家的决策者提供了一个有用的参考点, 这些决策者正在决定我们共同的能源未来。”

IEA展望报告对未来更有信心, 他们将预测分为三种情况, 其中一种将成为现实。探讨了不



确定性：“我们的分析探讨了一些关键的不确定因素，特别是中国的经济增长率，以及大规模产能扩张计划（主要在中国）可能导致的光伏技术加快部署。...还探讨了未来地缘政治紧张局势的加剧会如何破坏能源安全、减缓向新技术的过渡并降低其可使用难度。”

对数据的解释有所不同。EIA将其表述为一个合理值区域，中间为基准值。“《2023年国际能源展望报告》展示的是不受具体决策影响的一批参数，体现的是全球能源系统发展的现有轨迹。”IAEA按惯例提出两种情景：高情景和低情景。IEA提供三种情景：基于国家能源发展计划的情景（STEPS）、基于所发布目标的情景（APS）和基于到2050年时达成碳中和的情景（NZE）。

也许最重要的区别在于，IAEA和EIA的展望是对未来某些情景的陈述。IEA强调并反复建议采取行动：“要实现[能源]平稳过渡，最重要的是增加对清洁能源系统各个方面的投资。...为此，迫切需要加快新清洁能源项目的步伐，尤其是在许多新兴和发展中经济体，而不仅仅是中国。2023年前中国电能转型投资会增4倍以上，达到NZE情景中设想的水平。”然而，不清楚为什么发展中国家必须使其能源政策，最重要的是金融政策服从于国际能源机构专家制定的指标。

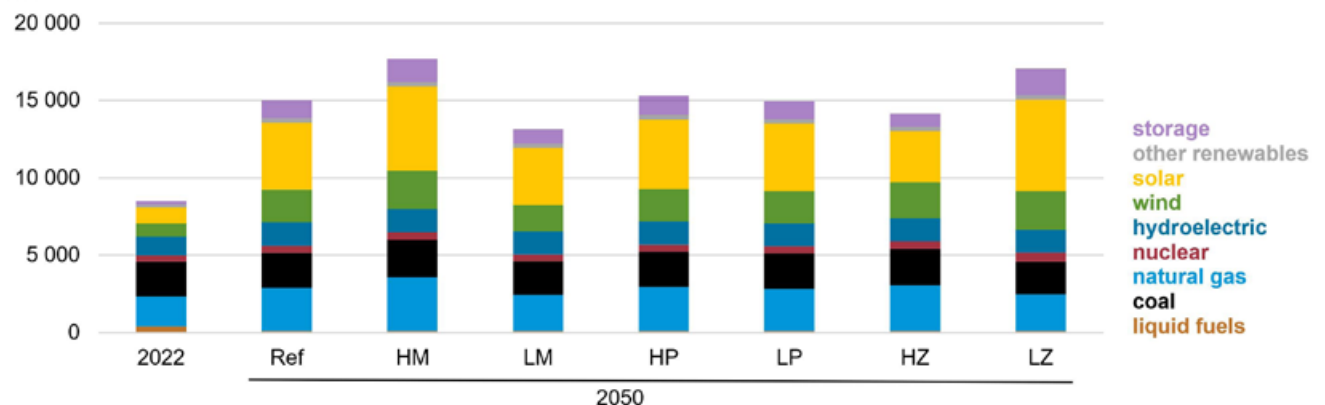
## 核能未来

对核能的兴趣有了增长。IAEA在展望中指出，“不断变化的能源格局，以及对气候行动的坚定承诺和对能源安全的更多关注，促使一些[欧盟]成员国重新考虑其核电政策，并决定继续运行现有反应堆和建造新的第三代/第三+代反应堆。此外，越来越多的国家对开发小型模块化反应堆及其电力和非电力应用表现出越来越大的兴趣。”

但核电站装机容量的具体指标不同。EIA的展望最有质疑精神：“在大多数情景下，总核容量保持稳定，但低 ZTC 情景除外（编辑注解：无碳技术价格较低的情景），在该情景下，我们减少了非经济限制（即地缘政治原因）的影响，便于思考建设新反应堆的经济后果。该情景下核电站功率到2050年时增加194吉瓦（2022年总功率为400吉瓦）。”

IAEA估计低度情景下世界核电站功率会有小幅增长，达到458吉瓦；高度情景下到2050年时世界核反应堆功率增长两倍以上，达到890吉瓦。根据2022年底数据，全球核电站的累计容量达到371吉瓦（来源：PRIS数据，2023年10月末370.17吉瓦）；与上年对比，IAEA将下限估计值提高了14%，上限估计值提高了2%。

Electricity generating capacity, world  
gigawatts



Data source: U.S. Energy Information Administration, *International Energy Outlook 2023* (IEO2023)  
 Note: Ref=Reference case; HM=High Economic Growth; LM=Low Economic Growth; HP=High Oil Price; LP=Low Oil Price; HZ=High Zero-Carbon Technology Cost; LZ=Low Zero-Carbon Technology Cost.



大体上,与2022年的水平相比,高方案预测到2030年全球核发电能力将增加约24%,到2050年将增加约140%。在低度假设中,预计到2030年核发电能力将增加约9%,到2050年将增加23%。

低度假设还预测,到2050年,核电在总发电能力中所占的比例将下降。预计下降约1.7个百分点。在高度假设中,预计到2050年,核电在总发电能力中的比例将增加约一个百分点。

IEA的展望在不同的章节中提出不同的评估。第106页介绍,“在所有情景下,核电的比例将随着时间的推移而大致保持不变。”第126页提到,“STEPS情景下核电站功率从2022年的417吉瓦升至2050年的620吉瓦。”笔者认为延长反应堆寿命和建造新机组将使核电站装机容量增加到770吉瓦(APS情景)和900吉瓦(NZE情景)。第126页提到,“核电站建设将达到新的高度。”

无论如何,预测之间的差别(超过100%)过大表明不确定性很高。

EAI和IEA的展望中,核电被列入低碳能源之列,其中还包括可再生能源发电和以化石为燃料并进行二氧化碳捕获和处置的发

电。IAEA的展望中提到IEA的数据,在过去50年中,核电站的使用避免了约700亿吨二氧化碳的排放。

## 落实过程中的困难

IEA的展望将电力行业不同部门的固有风险结构化。就核电而言,获得许可和认证的风险、缺乏合格人才的风险以及融资成本被认为很高。这还不是最大的一组风险--例如,风电和电网各有四项风险。

IEA介绍的威胁与IAEA提到的威胁相同,包括投资、经济困难和新建基础设施供应。展望中介绍,“近年来,由于建筑成本超支和首创项目的延误,美国和欧洲对项目风险的态度变得非常谨慎,阻碍了新项目的投资决策。”不过报告强调,在其他地区,核电机组的建设正在按照估算如期进行。此外,还在努力协调监管框架和行业标准,并在高放射性废物的最终处置方面取得了进展。

## 区域性

IEA和EIA的展望并未深入研究不同地区核工业的具体情况,因此下文将介绍IAEA展望中的信息。

北美洲到2050年时在高情景下总装机功率有可能增长44%(达到156吉瓦),低情景下减少三分之一(降至67吉瓦)。到2050年时高情景下核电站发电量会增长1.5倍(达到1297太瓦/时,与2022年对比),低情景下减少三分之一(降至547太瓦/时)。核能比例会增长1.5%或减少9%。

在拉丁美洲,水力发电是传统的强项,核电站出现于20世纪70年代。从那时起,核电的份额翻了两番,但仍然不大,只占能源总量的2%左右。到2050年时高情景下总装机功率增长5倍(25吉瓦),低情景下增长2倍左右(12瓦)。核能发电量会增长6倍(197太

[返回目录](#)

瓦/时)或减少30%(92太瓦/时)。核能装机功率比例增长1.6%或不得到改变,核电发电比例增长两倍,但数值要小得多。

在西欧、北欧和南欧,核能比例在1980年至1990年间翻了一番,随后有所下降,目前为19%。在这两种情景下,该地区的核装机容量在2030年前都将下降。此后到2050年时高情景下增长三分之一(131吉瓦),低情景下减少40%(60吉瓦)。核能发电量增长91%(1075太瓦/时或11%)或减少12%(493太瓦/时或5%以上)。

东欧核能比例自1980年以来增长3倍,截至2022年达到23%。到2050年时高情景下核能装机功率增长一倍(102吉瓦),低情景下增长11%(59吉瓦)。核能装机功率比例增长6%(800太瓦/时)或减少1.5%(461太瓦/时)。

1990年至2010年间,非洲的核能发电比例约为2-3%,由于其他类型发电(主要是燃气发电和水力发电)的增加,目前已降至1.2%。预计到2050年,非洲大陆的用电量将从2022年的水平翻两番。到2050年时高情景下核能功率增长9倍多(20吉瓦),低情景下增长4倍(9吉瓦)。高情景下核电发电量增长13倍多(144太瓦/时),比例增长两倍;低情景下增长6倍(69太瓦/时),比例将增至长%。

西亚地区传统上使用大量石油,40多年来化石能源一直占能源消费总量的80%左右。发电量增长12倍。核能比例到2022年占1.7%,到2050年时高情景下增长4倍(24吉瓦),低情景下增长两倍(14吉瓦)。发电量高情景下增长7倍(189太瓦/时或5%),低情景下增长4倍(112太瓦/时或2%)。

根据2022年的数据,南亚的核能发电比例为3%。该地区的主要能源是煤炭,其次是天然气。到2050年,发电量将增加两倍多。到

2050年时功率量增长两倍以上,高情景下核能功率增长6倍(74吉瓦),核能比例占2.5%;低情景下功率增长3倍(42吉瓦),核能比例占1.4%。高情景下发电量增长7倍(578太瓦/时或5%),低情景下增长4倍(331太瓦/时或1.5%)。

在中亚和东亚地区,电力份额自1980年以来翻了一番多,2022年已超过能源消费总量的四分之一。核能发电量比例在2000年之前一直增长,随后有所下降,到2022年占6%左右。到2050年时高情景下核能功率增长3倍(比例占4%,345吉瓦),低情景下增长一倍(比例占2.8-3.6%,192吉瓦)。高情景下发电量增长3.5倍(11%,2777太瓦/时),低情景下增长280%(5%,1772太瓦/时)。

东南亚的发电量自1980年以来翻了两番。该地区还没有核电站。主要能源是煤炭、天然气和水电。到2050年时高情景下建设功率为11吉瓦的核电站,低情景下建设功率为3吉瓦的核电站,发电量分别为87和24太瓦/时。

大洋洲还没有核能。发电主要依靠煤炭。到2050年时高情景下建设功率为2吉瓦的核电站,低情景下不建设核电站,发电量分别为14太瓦/时或零。

Rosatom为全球核能发电的发展做出了巨大贡献。到2022年底,该国有企业成为国际市场上最大的参与者。Rosatom在7个国家建设32座机组,在11个国家拥有33座机组。成立的18年间,Rosatom建设了18座大型功率机组(不含浮动核电站),其中9座在俄罗斯境外。<sup>NL</sup>

[返回文章开头](#)





## 扩展中俄关系

俄罗斯国家原子能公司与中国合作伙伴单位的关系是全面的,其范围并不限于电能项目。我们收集了近几个月以来中俄合作中的大事。

### 协议

11月初国家专业设计院(GSPI,俄罗斯国家原子能公司旗下)和油气化学设备最大生产商之一的兰州兰石集团在第八届东方经济论坛上

签署了谅解备忘录。双方商定研究在萨哈林岛上建设制氢工厂的合作可能性,讨论把低碳制氢项目所需要的设备从中国进口到俄罗斯以及从俄罗斯把所生产的氢气出口至中国。

8月在圣彼得堡举行中俄政府首脑定期会晤筹备委员会核能问题小组委员会第27次会议,俄罗斯国家原子能公司总裁阿列克谢·利哈乔夫和中国国家原子能机构主任张克俭为联合主席。

双方讨论了现有项目的进展以及民用核能合作方面有前景的日程。



## 建设

10月中旬在田湾核电站七号机组根据设计位置安装VVER-1200反应堆容器，俄罗斯国家原子能公司参与建设工作。

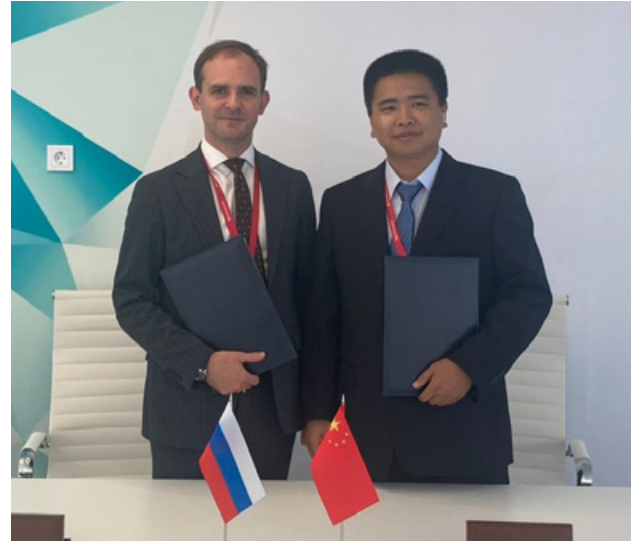
Atomstroyexport (俄罗斯国家原子能公司旗下公司) 副总裁阿列克谢·班尼克介绍有前景的中俄项目时说，“根据反应堆容器安装框架内的合同义务，俄方为中国专家提供技术支持。在所有大型设备安装完成后，俄罗斯工程师和建筑商将负责7号机组‘核岛’设备的安装和调试。”

反应堆容器8月初运输到建筑工地。安装前根据相关规定对设备进行了检查。核查委员会由中方代表、俄罗斯国家原子能公司工程设计部门员工和设备生产者Atommmash员工。

反应堆体重334.2吨，长11.34米，田湾核电站是俄中最大的经济合作项目。根据俄罗斯VVER-1200反应堆项目，正在建造两个发电机组。早些时候建造的俄罗斯VVER-1000项目的四座机组成功运行。

此外，俄罗斯国家原子能公司参与为徐大堡核电站建设两座VVER-1200反应堆机组(3号和四号)。俄方根据合同设计核电站的“核岛”，供应关键设备，进行现场监理、安装调试方面的工作。机组计划于2027-2028年前投运。7月，3号机组单阶段安装反应堆安全壳。此前，俄罗斯项目核电站的安装分两个阶段进行。

班尼克说，“徐大堡核电站现场进行了独特技术程序，优化了工艺流程，提前188天完成了穹顶的提升。一个完整的地面穹顶重达740吨，用起重机一次吊起来，放在反应堆大楼上。”



## 其它活动

中国代表积极参与俄罗斯国家原子能公司举办的活动。

11月底，中国团队参与在叶卡捷琳堡举行的第10届“Hi-Tech”国际高科技专业锦标赛。活动共有35个比赛项目，吸引超过25家俄罗斯公司的1000名参赛者以及来自欧亚经济联盟、金砖国家和东盟的10个国家的参赛者。

11月中旬，中国中子科学国际研究院(FDS)研究员刘超出席了在NIKIET(俄罗斯国家原子能公司旗下公司)举行的第6届“创新项目和核能技术”国际科技会议，介绍了CLEAR铅载热体反应堆系列，提醒中国追求2030年时达到二氧化碳排放峰值，2060年实现碳中和。刘超强调：“核能在中国发挥非常重要的作用，我国支持研发先进能源系统，包括按计划研发铅载热体反应堆。” <sup>NL</sup>

[返回文章开头](#)